

충전재 변화에 따른 PET 재활용 폴리머 콘크리트의 황산 부식에 관한 특성

Characteristics of Sulfuric acid corrosion of Recycled PET Polymer Concrete with Different Filler

조 병 완* 구자갑** 박 종 화** 박 승 국**
Jo, Byung Wan Gu, Ja Kap Park, Jong Hwa Park, Seung Kook

ABSTRACT

Resins using recycled PET offer the possibility of a lower source cost of materials for making useful polymer concrete products. The purposed of this paper is to form a part of reducing the damage of sulfuric acid, through investigating recycled PET polymer concrete, immersed at sulfuric acid solution for 84 days. Recycled PET PC is excellent chemical resistance, resulting in the role of unsaturated polyester resin which consists of polymer chain structure accomplishes bond of aggregates and filler strongly. Also, Recycled PET PC, used fly-ash as filler, is stronger resistance of sulfuric acid corrosion than CaCO_3 , because it is composed of SiO_2 and very strong glassy crystal structure. Therefore, Recycled PET PC, used fly-ash as filler, is available under corrosion circumstances like sewer pipe or waste disposal plant.

1. 서론

폴리머는 고성능 재료로서 건설산업분야에서 많은 관심을 불러일으키고 있으며 각종 제품이나 구조물에 대한 응용연구가 활발히 이루어지고 있다. 화학적으로 유해한 환경에 놓인 콘크리트 구조물은 필연적으로 그 기능이 약화 되므로 콘크리트의 부식 방지 및 콘크리트가 화학 물질에 오염된 환경 하에서 어떤 변화를 일으키는 것에 대한 연구의 필요성이 점차 증대되고 있다. 특히, 황산은 콘크리트 하수관거에서 부식 피해를 일으켜 콘크리트 하수관거 부식의 전체 20% 이상을 차지하고 있다. 이러한 부식된 구조물에 대한 보수, 보강은 필수적일 것이다. 하지만 이러한 보수, 보강은 비용이 많이 들 뿐만 아니라, 시공성이나 사용성이 떨어진다는 단점이 있다. 따라서 부식 환경 하에 놓인 구조물에 대해서는 보다 근본적인 대책이 필요할 것이다. 본 연구에서는 폐 PET 재생수지와 두 가지 무기 충전재를 이용, 폴리머 콘크리트를 제조하여 황산용액에 침지 시켜 그 반응 과정과 특성을 분석하였다. 이러한 반응과정과 특성 규명을 통해 부식 환경하에서의 폴리머 콘크리트의 특성을 파악하고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

본 실험에 사용한 불포화 폴리에스터 수지는 코발트계 경화촉진제가 첨가 되어 있는 제품으로서 성분은 [표1]과 같다. 개시제제로서는 메틸에틸케톤퍼옥사이드(MEKPO)를 사용하였다. 충전재는 CaCO_3 와 플라이 애쉬를 사용하였고, 굵은 골재는 쇄석을, 잔골재는 규사를 사용하였다. 실험에 앞서 골재의 수분은 함수량이 0.1% 이하가 되도록 건조로에서 24시간 건조시킨 후 냉각시켜 사용하였다. 사용된 골재의 물리적 성질 및 충전재의 화학조성표는 각각 [표2], [표3]와 같다.

* 한양대학교 토목공학과 교수

** 한양대학교 토목공학과 박사과정

[표1] 폐 PET 재생 불포화 폴리에스터 수지의 성분

Specific gravity (25°C)	Viscosity (mPas)	ACID Value (KOH/g)	Styrene content (%)	Non Volatile Materials (%)
1.13	1300	5	37~43	63

[표2] 골재의 물리적 성질

Type	Size (mm)	Specific gravity	Fineness modulus	Absorption (%)
coarse agg.	8이하	2.63	6.42	0.08
fine agg.	5이하	2.60	2.48	0.05

[표3] 충전재의 화학조성표

CaCO ₃						Fly-ash						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	lg. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg. loss
2.23	0.25	0.09	53.7	0.66	3.5	57.09	24.66	10.5	2.58	1.37	0.94	3.5

2.2 실험방법

부식 환경 하에서의 PET 재활용 폴리머 콘크리트의 충전재 영향을 알아보기 위하여 두가지 종류의 충전재를 사용 하였다. 또한 침지 기간은 1, 7, 14, 28, 56, 84일로 각각 나누어 침지 기간별 실험체의 외형 변화 및 강도 특성을 알 수 있게 하였다. 배합은 수지 11%, 충전재 15%, 굵은 골재 37%, 잔골재 37%의 중량 배합을 실시하였다.

2.3 실험분석

침지 후 실험체의 외형 및 표면 상태를 관찰하기 위하여 실험체를 흐르는 물에 깨끗하게 씻은 뒤 1 시간 동안 건조 시킨 후에 외형의 중량 손실 및 표면 상태를 육안 관찰하였다. 또한 각 침지 기간별 실험체의 중량 변화를 측정하기 위하여 침지 후 0.1g 측정 가능한 저울로 각 실험체의 침지 전후의 중량변화를 측정하였다.

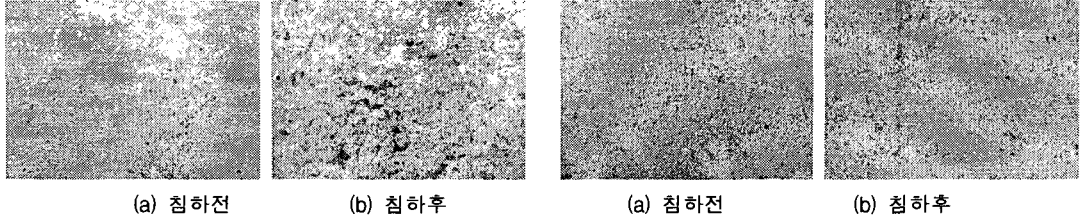
3. 결과 및 토의

3.1 표면상태 및 중량 변화

침지 전후의 표면 상태를 관찰하기 위해 재령 84일의 실험체를 흐르는 물에 씻은 뒤 표면 건조 시킨 뒤 그 표면 상태를 관찰하였다. [그림1]에서 충전재로 중탄산칼슘을 사용하였을 경우의 표면 상태를 나타내었다. 그림과 같이 침지하지 않은 실험체의 경우 짙은 갈색인데 반하여, 84일 침지 후의 실험체는 옅은 갈색을 띠고 있었으며 실험체 표면은 약간 거칠었고 일부 황산의 영향에 의해 부식된 부분도 관찰 할 수 있었다. 이것은 중탄산칼슘과 황산의 화학적 반응으로 인해 실험체 고유의 색을 탈색 시키고 표면 부식에도 영향을 끼친 것으로 판단된다. 반면에 충전재로서 플라이애쉬를 사용한 경우에는 [그림 2]에서와 같이 표면의 부식상태나 흡집등 기타 외형의 모습은 침지 하지 않은 경우와 차이점을 찾을 수 없었다. 일반 시멘트 콘크리트의 경우 침지 며칠 후부터 상당한 표면 부식 및 중량 손실을 가져온다. 이에 비해 플라이애쉬를 사용한 PET 재활용 폴리머 콘크리트의 경우 외형적 모습이 상당히 양호함을 알 수 있었다. 이것은 플라이애쉬의 주성분인 SiO₂ 입자들이 화학적으로 매우 강한 유리질 상을 형성하고 있어 황산의 공격으로부터 비교적 안정한 것으로 판단된다. 또한 치밀한 체인구조를 형성하고 있는 불포화 폴리에스테르 고분자 수지가 골재와 충전재를 둘러싸고 있고, 실험체 외면을 형성하고 있어 황산의 공격으로부터 보호막 역할을 하고 있는 것으로 판단된다.

침지 기간별 평균 중량 변화율을 [그림 3]에 나타내었다. 충전재로 중탄산칼슘을 사용한 PET 재활용 폴리머 콘크리트의 경우 침지 초기에는 플라이애쉬를 사용한 경우와 중량 감소율이 비슷했으나 침지 14일이 넘어 갈수록 중량감소가 거의 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 반면에 플라이애쉬를 사용한 경우는 침지 초기 중량 감소율이 선형적으로 증가하다가 침지 14일 이후 그 증가폭이 점점 줄어드는 경향을 나타내었다. 중탄산칼슘을 충전재로 사용한 경우 선형적으로 중량 감소율이 증가 하는 것

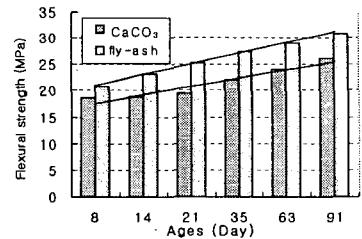
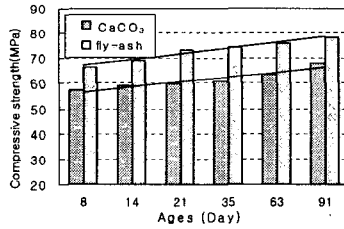
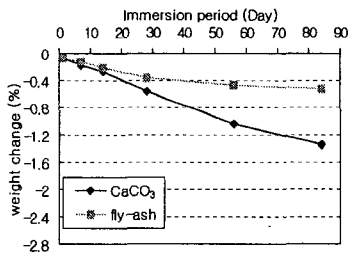
으로 보아 장기간 부식 환경에 노출 될 경우 구조물 부식에 문제를 일으킬 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 1] 중탄산칼슘 사용 공시체 표면 변화 [그림 2] 플라이애쉬 사용 공시체 표면 변화

3.2 강도

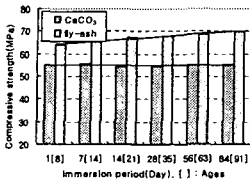
충전재로 플라이애쉬, 중탄산칼슘을 사용한 PET 재활용 폴리머 콘크리트를 황산에 침지 시키지 않은 경우에 대하여 [그림 4, 5]에 각 재령별 압축강도와 휨강도를 표시하였다. 재령이 증가함에 따라 두 충전재 모두 어느 정도 강도가 계속해서 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 플라이애쉬를 충전재를 사용한 경우가 중탄산칼슘을 사용한 경우보다 압축강도 휨강도 모두 약 15%정도 강도가 큰 것을 알 수 있다. 이것은 플라이애쉬의 입자가 중탄산칼슘의 입자에 비해 더 작고 구형이므로 PET 재활용 폴리머 콘크리트의 밀실 충전에 더 유리한 것으로 판단된다. 또한, PET 재활용 폴리머 콘크리트의 침지 기간별 압축강도와 휨강도 실험 결과치를 [그림 6,7]에 나타내었다.



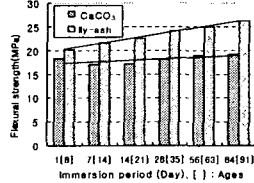
[그림 3]침지기간 동안의 무게 변화 [그림 4] 비침하 공시체의 압축강도변화 [그림 5] 비침하 공시체의 휨강도변화

충전재로 플라이애쉬를 사용한 경우는 침지기간이 증가함에 따라 침지 후에도 강도가 일정량 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 침지 하지 않은 경우와 비교 했을 때 그 증가량은 낮았으나 일정부분 증가하는 것으로 보아 재령에 따른 강도 증가의 피해는 낮은 것으로 판단된다. 반면에 중탄산칼슘을 충전재로 사용한 경우의 각 재령별 침지 후 강도는 초기 강도에 비해 거의 증가 하지 않는 것으로 나타났다. 이것은 충전재로 중탄산칼슘을 사용하였을 경우에는 황산과 중탄산칼슘의 반응으로 인해 PET 재활용 폴리머 콘크리트의 강도 발현에 영향을 끼친 것으로 판단된다. 각 재령별 침지 후 강도 변화율은 [그림 8,9]에 나타내었다. 압축강도와 휨강도 변화율은 침지 14일까지는 침지 후 충전재로 플라이애쉬를 사용한 경우와 중탄산칼슘을 사용한 경우 모두 비슷한 감소율을 나타내었다. 하지만 플라이애쉬를 사용한 경우는 침지 14일 이후부터는 강도 감소 증가율이 다소 완만한 기울기를 나타내었다. 이에 반해, 중탄산칼슘을 사용한 경우는 침지 기간별로 꾸준한 강도 감소 증가를 보였다. 특히 휨강도의 경우 최고 강도 감소율이 25%를 넘는 것으로 보아 압축강도 보다 휨강도가 좀 더 약한 것으로 나타났다. 압축강도 또한 재령이 늘어남에 따라 강도 감소 증가폭이 줄어들지 않는 것으로 나타나 장기간 부식 환경의 노출은 적합하지 않는 것으로 판단된다. 반면에 플라이애쉬를 사용한 경우는 압축강도 및 휨강도 감소율이 최대 15%를 넘지 않는 것으로 나타났다. 이것은 플라이애쉬의 대부분을 차지하고 있

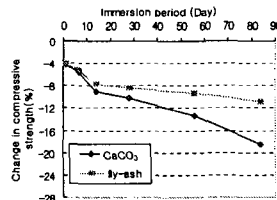
는 SiO₂성분이 매우 강한 유리질 결정구조를 갖고 있어 부식환경에 대한 저항성이나 강도 증진에 효과가 있는 것으로 판단된다.



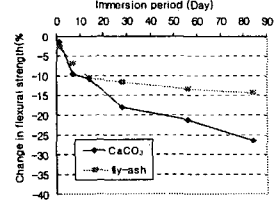
[그림 6] 침하 공시체의 압축강도 변화



[그림 7] 침하 공시체의 휨강도 변화



[그림 8] 침하기간내 평균 압축강도 변화율



[그림 9] 침하기간내 평균 휨강도 변화율

4. 결론

- (1) 침지 전, 후 실험체의 외형에서, 중탄산칼슘을 충전재로 사용한 경우는 표면의 거칠기 및 색깔 변화가 다소 있었으며, 표면 부식의 흔적을 찾을 수 있었다. 그러나 플라이애쉬를 사용한 경우는 색깔이나 표면 부식에 거의 변화가 없었다.
- (2) 침지후 재량별 중량 변화 및 강도 변화는 침지 초기에는 두가지 충전재 모두 일정한 감소율을 보였으나 침지기간이 늘어날수록 중탄산칼슘을 사용한 경우는 더 이상의 강도 증가는 거의 없었으며, 중량 및 강도 감소율이 지속적으로 늘어나는 경향을 나타내었다. 이것은 중탄산칼슘이 황산의 공격을 받아 일부 부식 작용을 하여 수지의 가교 밀도를 저하 시켜 강도 감소 및 중량감소의 원인이 된 것으로 판단된다.
- (3) 플라이애쉬를 충전재로 사용한 경우는 강도가 중탄산칼슘을 사용한 경우보다 15%정도 더 크게 나타났다. 침지 기간이 늘어날수록 중량 및 강도 감소율이 다소 완만해 지는 경향을 나타내었다. 이것은 플라이애쉬의 입자가 작고, 입도가 고르며, 모양이 구형이므로 내부 밀실 충전효과가 강도 형성에 크게 기여한 것으로 판단된다.
- (4) 중탄산칼슘을 사용한 경우 주성분인 CaO가 황산과 반응, 수지의 가교밀도가 저하 되어 내부 미세 균열 및 공극이 발생되고 있는 것으로 추정된다. 플라이애쉬를 사용한 경우 플라이애쉬가 매우 강한 유리질 결정체인 SiO₂를 주성분으로 하고 있어 침지 전후의 내부구조 변화가 거의 없는 것으로 판단된다. 따라서 하수관거, 공장 폐수시설등 부식 환경 하에서의 구조물에서는 플라이애쉬를 사용한 폴리머 콘크리트의 사용이 적합할 것이다.

참고 문헌

1. ACI Committee548, "Guide for the Use of Polymers in Concrete," American Concrete Institute, 1997.
2. J. Monteny, N. Dr Belie, E.Vincke, "Chemical and microbiological tests to simulate sulfuric acid corrosion of polymer-modified concrete", Cement and Concrete Research, Vol 31, pp. 1359-1356, 2001.
3. 부척량, 김동재, "콘크리트 내화학성에 관한 실험적 연구" 한국콘크리트 학회지 제 9권 1호 pp. 153-163, 1997
4. 문한영, 손영호, "플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 내약품성에 관한 연구" 대한토목학회 논문집 제 8권 1호 pp. 103-112, 1988